

Утверждаю
Главный инженер
ООО «Конструкторское бюро
«Физэлектронприбор»

_____ Коннов В.В.

21 декабря 2023г.

Отчет по исследованию возможности контроля влажности кофейного жмыха, полученного из Nestlé Kuban LLC, с помощью анализаторов влажности (влажномеров) FIZEPR-SW100

1. Введение

Для определения возможности измерения влажности кофейного жмыха применялся влагомер варианта исполнения FIZEPR-SW100.30.2. Данный лабораторный влагомер по своим метрологическим характеристикам соответствует поточным влагомерам серии FIZEPR-SW100.1х.х.

Датчик влагомера FIZEPR-SW100.30.2 выполнен в виде кюветы с размерами 200 x 100 x 100 мм. По принципу действия влагомеры серии FIZEPR-SW100 представляют собой измерители диэлектрической проницаемости (диэлькометры). Метод измерения диэлектрической проницаемости (ϵ_r) прямой, основанный на измерении коэффициента замедления ($k_{зам}$) электромагнитной волны в контролируемом материале. Коэффициент замедления $k_{зам}$, называемый также коэффициентом преломления, представляет собой отношение скорости распространения электромагнитной волны в воздухе (т.е. скорости света) к скорости ее распространения в контролируемом материале. Измерения производятся путем зондирования среды радиоволнами на частотах диапазона 2...750МГц. Для нахождения $k_{зам}$ влагомер вычисляет отношение резонансной частоты датчика в воздухе к его резонансной частоте в контролируемом материале. По найденному значению коэффициента замедления процессор влагомера рассчитывает содержание воды с учетом температуры материала. Расчет производится на основе калибровочных таблиц, подготовленных для каждого типа контролируемого материала и записанных в память влагомера.

2. Проведение измерений начальной влажности образца материала

Измеряемый влагомером параметр – влажность – представляет собой отношение массы воды, содержащейся в материале, к массе влажного материала и определяется следующим выражением:

$$W = \frac{m_{\epsilon} - m_c}{m_{\epsilon}} \times 100\%$$

где W - влажность материала;

m_{ϵ} - масса образца влажного материала;

m_c - масса того же образца материала после сушки.

Перед началом испытаний была измерена фактическая влажность образцов материала кофейного жмыха, полученного из Nestlé Kuban LLC. Контрольное измерение влажности образца выполнялось с помощью анализатора влажности AND ML-50 (см. фотографию на рис.1). Метод измерения - термогравиметрический. В результате получили следующие значения влажности W отобранных проб кофейного жмыха. В двух пакетах значение влажности равное 76,7%, а третьем пакете было значение 46,6%. Эти значения учитывались в дальнейших измерениях.



Рис.1. Анализатор влажности AND ML-50 для измерения термогравиметрическим методом

3. Измерение зависимости коэффициента замедления $K_{зам}$ кофейного жмыха от содержания в нем воды

При дальнейших экспериментах в пробы материала добавляли отмеренные дозы воды, полученную смесь тщательно перемешивали и таким способом получали образцы кофейного жмыха с промежуточными значениями влажности.

Датчик влагомера FIZEPR-SW100.30.2, который применялся при испытаниях, показан на рис. 2.

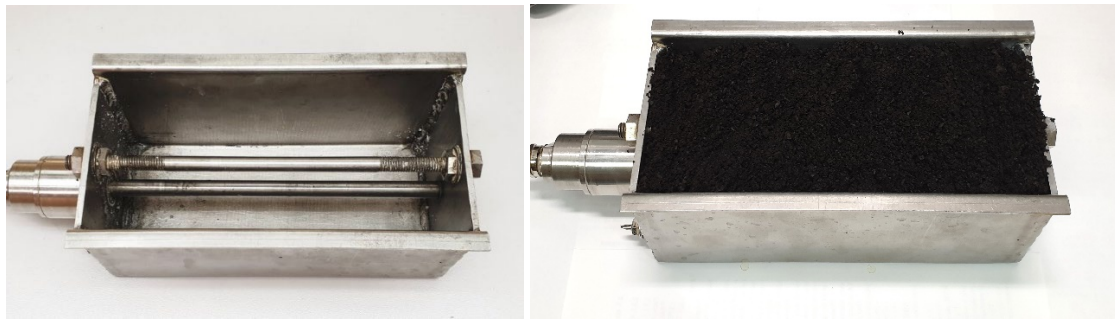


Рис.2. Датчик влагомера FIZEPR-SW100.30.2

Калибровка (градуировка) влагомера состоит в получении экспериментальной зависимости коэффициента замедления $k_{зам}$ электромагнитной волны, распространяющейся в материале, от содержания в материале воды. Для получения этой зависимости снимается спектр сигнала датчика и определяется частота резонанса (положение минимума резонансной кривой на оси частот).

Для пустой кюветы частота резонанса $F_{калиб} = 633$ МГц. При заполнении кюветы контролируемым материалом с влажностью $W = 46,6\%$ было получено значение частоты резонанса $F_{рез} = 305,6$ МГц. (без утрамбовки).

Коэффициент замедления $k_{зам}$ определяется по формуле:

$$k_{зам} = F_{калиб} / F_{рез} = 2,07.$$

С помощью программы SWPro на экране компьютера отображается спектр сигнала с датчика влагомера. На рис.3 показан спектр (резонансная кривая) для значения влажности 46,6%.

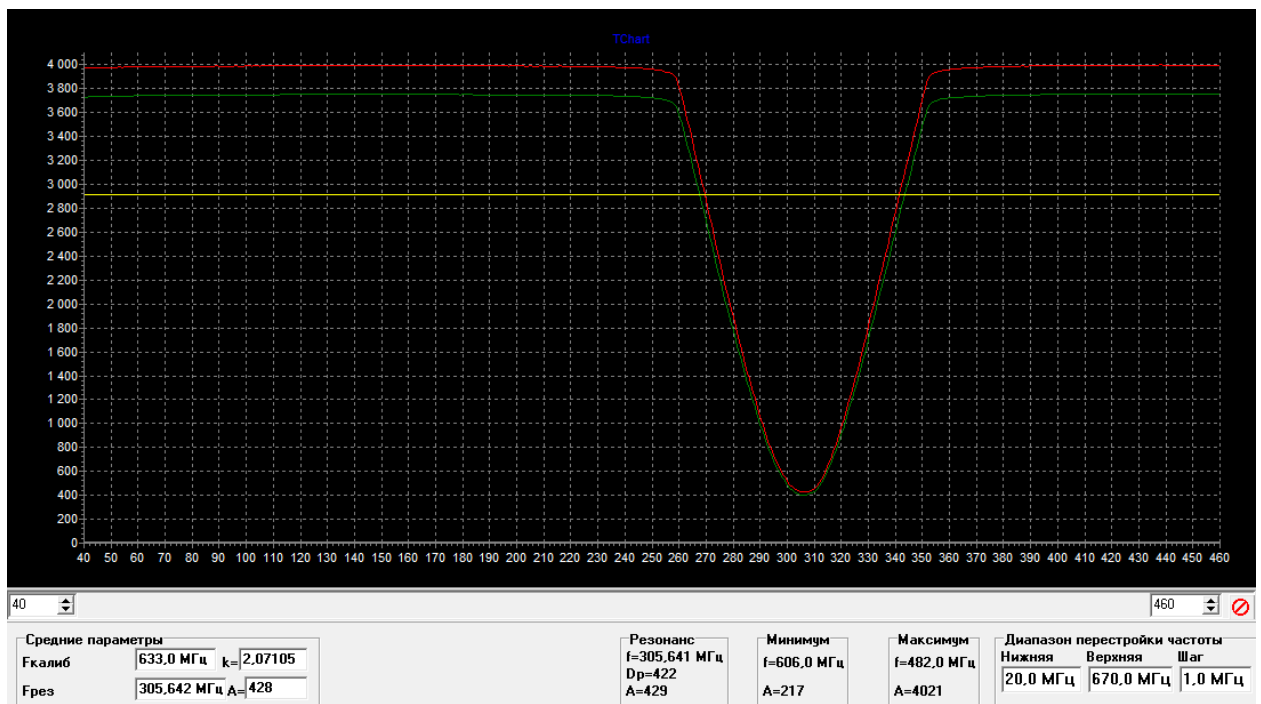


Рис.3. Спектр сигнала с датчика влагомера при заполнении кюветы образцом кофейного жмыха $W = 46,6\%$

После измерения образца с исходной влажностью ($W = 46,6\%$) он был извлечен из кюветы. Далее в исследуемый материал последовательно добавляли (с тщательным перемешиванием) измеренное количество воды и на каждом этапе проводили измерения $k_{зам}$. Так же был измерен полученный материал в влажность $76,7\%$.

Отметим, что при измерениях параметр $k_{зам}$ определялся для двух значений насыпной плотности: когда материал засыпан в кювету без утрямбовки и после утрямбовки. Утрямбовка материала в кювету проводилась путем придавливания материала сверху рукой, поэтому от силы придавливания зависит насыпная плотность и как следствие показания датчика. Стоит отметить, что материал влажностью $76,7\%$ начал органические изменения, сопровождаемые неприятным запахом, то есть начался процесс гниения этого материала, который мог оказать влияние на его физические свойства.

Результаты серии таких экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Влажность, W , %	$K_{зам}$ (материал в кювете не утрамбован)	$K_{зам}$ (материал в кювете утрамбован)
46,6	2,07	2,268
56	2,15	2,85
66	2,86	4,1
76,7	3,06	3,86

Пояснение причин влияния на измерения насыпной плотности материала: измерение любым влагомером (кроме оптических влагомеров) можно представить как измерение суммарного кол-ва воды в объеме, охватываемого при измерениях датчиком. Если в этот объем поместить (утрамбовать) большее количество сыпучего материала, то и воды в этом объеме тоже окажется больше. Соответственно, влагомер покажет большее значение влажности.

По результатам измерений в память влагомера будет занесена предварительная калибровочная (градуировочная) таблица. Но такая калибровка должна быть уточнена в реальных условиях эксплуатации влагомера, т.е. должна быть учтена насыпная плотность контролируемого материала в месте установки датчика. Без уточнения калибровки, после установки датчика, точность измерений не может гарантироваться.

Заключение

В результате проведенных экспериментов установлено, что влагомеры серии FIZEPR-SW100.10.4xx на кофейном жмыхе работоспособны и могут быть применены для его измерения. Для достижения минимальной погрешности измерений, как и при измерении любого другого сыпучего материала, необходимо обеспечить выполнение ряда условий и требований, указанных ниже.

1) После установки датчика необходимо будет произвести контрольные измерения с уточнением калибровочной таблицы.

2) Контролируемая датчиком влагомера область (пространство между электродами датчика, а также вокруг электродов) должна быть полностью заполнена измеряемым материалом. Если вместо контролируемого материала указанная область будет заполнена, хотя бы частично, воздухом или посторонними предметами (мусором), то правильные измерения невозможны.

3) Количество материала в контролируемом датчиком объеме (области) должно быть примерно одинаковым при всех измерениях, т.е. должна быть стабильна насыпная плотность материала. При изменении насыпной плотности материала меняется масса материала, попавшего в объем пространства, контролируемый датчиком. Соответственно, в указанном объеме вместе с изменением массы материала изменяется и количество воды, на которое реагирует датчик. Следует отметить, что в бункере, как показывает практика, насыпная плотность сыпучего материала оказывается наиболее стабильной, поэтому максимальная точность измерения достигается именно на влагомерах варианта FIZEPR-SW100.10.4x, установленных в бункерах.

Для сыпучих материалов, измерить влажность с точностью, лучшей, чем 0,4 ... 0,5% практически не реально. Причина этого: влияние насыпной плотности материала, которая может немного меняться в зависимости от режимов загрузки и выгрузки, толщины слоя материала.

Отдельной задачей является процедура подтверждения точности, которая порой осложнена неравномерным распределением влаги по толщине слоя материала. В результате не всегда можно сопоставить ряд проб и текущее показание влагомера, которое, как правило, представляет собой некое среднее значение в достаточно большом контролируемом объеме. По тем же причинам ограничена точность проведения калибровки датчика.

Следует отметить, что налипания материала на установленные в бункере датчики вариантов FIZEPR-SW100.10.4x, и на стенки самого бункера вполне допустимы, т.к. измеряется сразу объем материала в сотни литров, а налипает, обычно, не более десяти литров, поэтому налипший материал, в силу его относительно малого объема, на измерения не влияет.

Ст. инженер ООО «Конструкторское бюро «Физэлектронприбор»

_____ Зобнин П.Ю.